

eventi casuali

studio delle distribuzioni

- **del numero di eventi in un intervallo di tempo fissato**
distribuzione di Poisson
- **dei tempi di attesa di un evento**
funzioni di Erlang

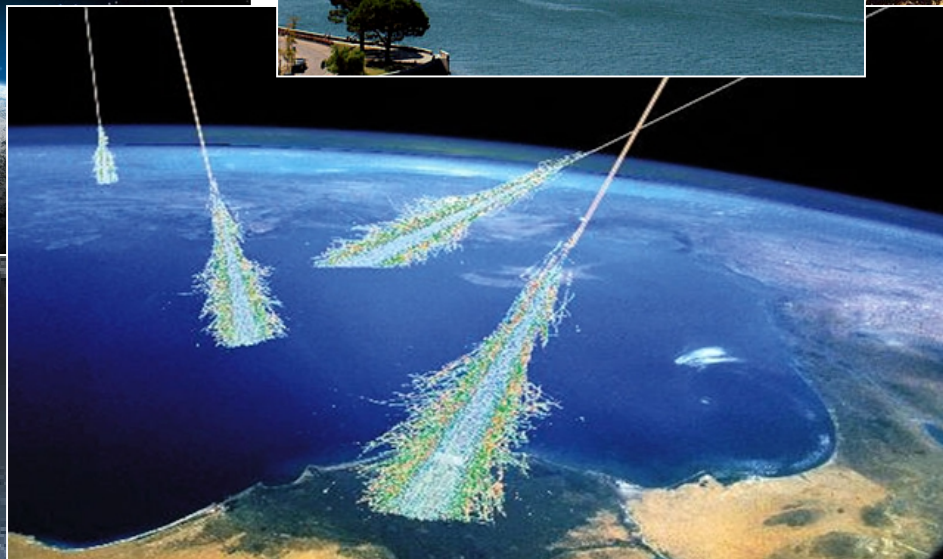
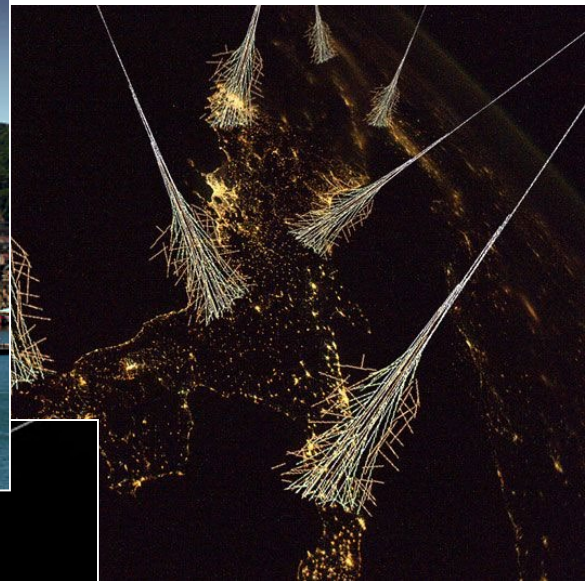
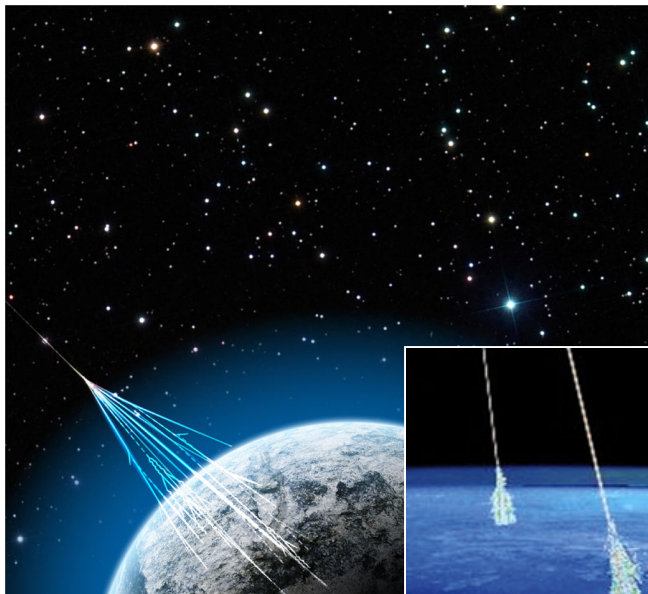
evento casuale:

rivelazione di una particella carica dei raggi cosmici

- **raggi cosmici** (per informazione)
- **rivelatori** (per informazione)
- **misure da eseguire**

raggi cosmici

RAGGI COSMICI



... non e' proprio cosi' che si vedono

Laboratorio 2, dicembre 2019

RAGGI COSMICI

**termine coniato nel 1920 per indicare la “radiazione”
ionizzante rivelata sulla superficie terrestre**

**studiata dall’inizio del 1900, identificata con radioattività
ambientale prima, radiazione em di alta energia poi, ha
permesso scoperte importantissime**

RAGGI COSMICI

termini
ionizzanti

st
nu
sc

Table 1. Discovery of elementary particles

Particle	Year	Discoverer (Nobel Prize)	Method
e^-	1897	Thomson (1906)	Discharges in gases
p	1919	Rutherford	Natural radioactivity
n	1932	Chadwick (1935)	Natural radioactivity
e^+	1933	Anderson (1936)	Cosmic Rays
$\mu^\pm$	1937	Neddermeyer, Anderson	Cosmic Rays
$\pi^\pm$	1947	Powell (1950) , Occhialini	Cosmic Rays
$K^\pm$	1949	Powell (1950)	Cosmic Rays
π^0	1949	Bjorklund	Accelerator
K^0	1951	Armenteros	Cosmic Rays
Λ^0	1951	Armenteros	Cosmic Rays
Δ	1932	Anderson	Cosmic Rays
Ξ^-	1932	Armenteros	Cosmic Rays
$\Sigma^\pm$	1953	Bonetti	Cosmic Rays
p^-	1955	Chamberlain, Segre' (1959)	Accelerators
anything else	1955 $\Rightarrow$ today	various groups	Accelerators
$m_\nu \neq 0$	2000	KAMIOKANE	Cosmic rays

RAGGI COSMICI

**termine coniato nel 1920 per indicare la “radiazione”
ionizzante rivelata sulla superficie terrestre**

**studiata dall’inizio del 1900, identificata con radioattività
nucleare prima, radiazione em di alta energia poi, ha permesso
scoperte importantissime**

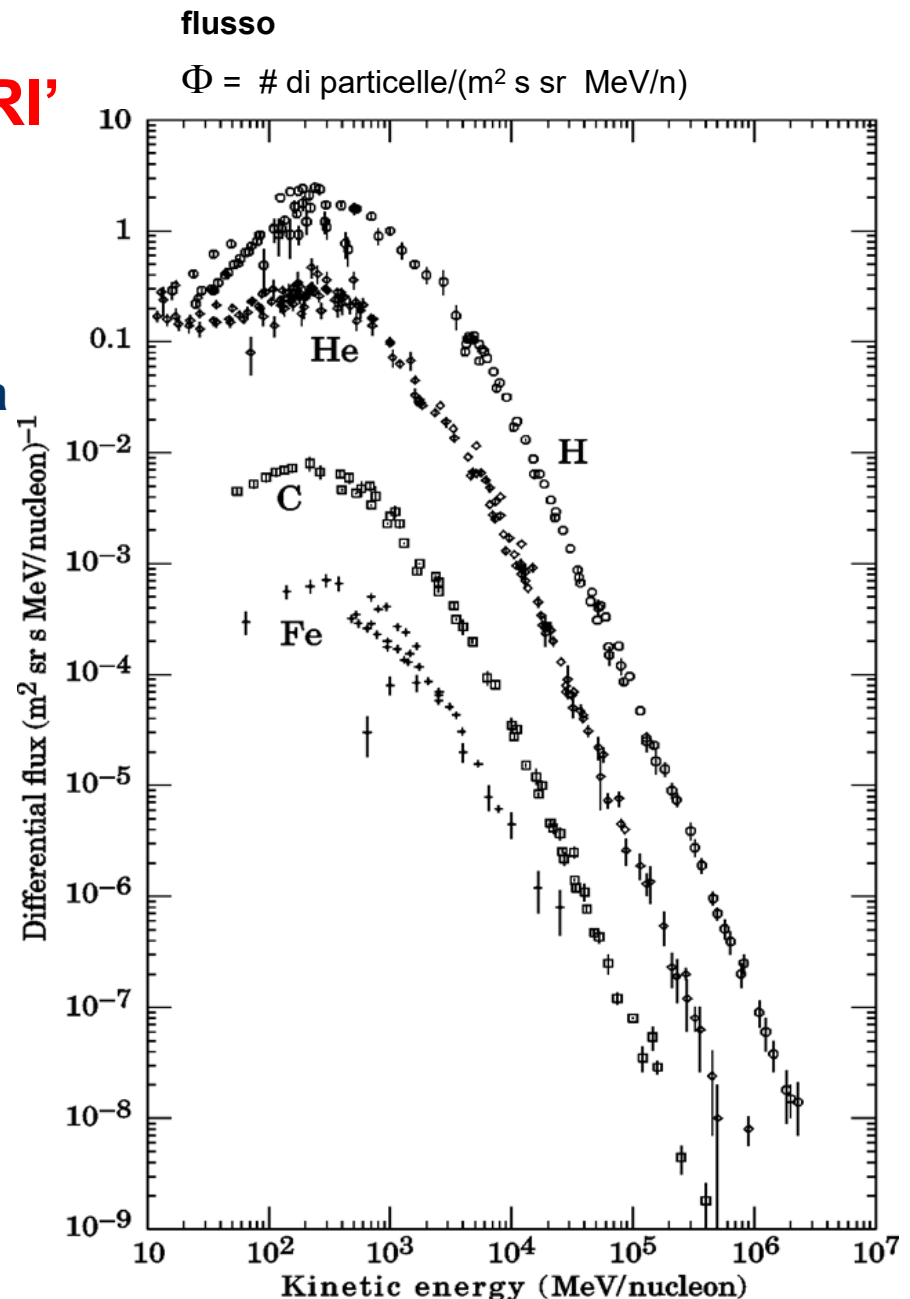
**e’ ancora oggetto di studio con esperimenti sofisticati su
navicelle spaziali e satelliti (AMS, PAMELA, ...), sulla superficie
terrestre (MAGIC, ...), sotto il mare o sotto i monti (... , LNGS)**

- **radiazione cosmica primaria**
- **radiazione cosmica secondaria**

RAGGI COSMICI 'PRIMARI'

radiazione (particelle e nuclei atomici) di alta energia proveniente dallo spazio ("cosmo") alla quale è esposta anche la Terra

la sua **composizione** rispecchia l'abbondanza degli elementi nell'Universo (e nella Terra):
e' costituita soprattutto da protoni di **energia molto elevata**



energia

l'elettronvolt (eV) è l'energia guadagnata (o persa) da un elettrone quando si muove tra due punti tra i quali c'è una differenza di potenziale di 1 V

$$1 \text{ eV} = 1.602176565 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$e = 1.602176565 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\text{keV, MeV, GeV, TeV} \quad 10^3, 10^6, 10^9, 10^{12} \text{ eV} \quad 1 \text{ V} = 1 \text{ J/C}$$

$$E = mc^2$$

$$m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 \text{ MeV}/c^2$$

$$m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$$

LHC dal 2015 due fasci di p di
7 TeV = $7 \cdot 10^6$ MeV ciascuno

RAGGI COSMICI 'PRIMARI'

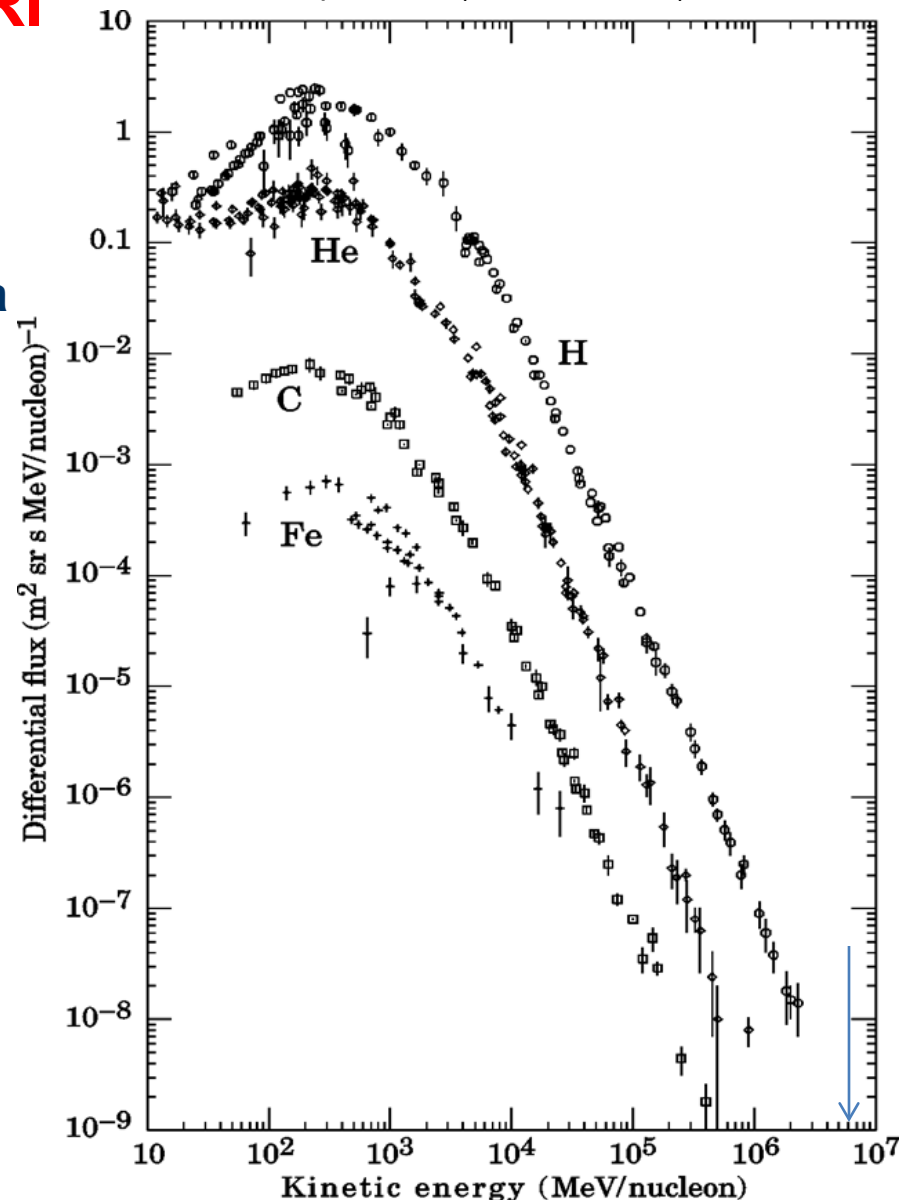
radiazione (particelle e nuclei atomici) di alta energia proveniente dallo spazio ("cosmo") alla quale è esposta anche la Terra

la sua **composizione** rispecchia l'abbondanza degli elementi nell'Universo (e nella Terra):
e' costituita soprattutto da protoni di **energia molto elevata**

'MeV/nucleone' perche' nuclei

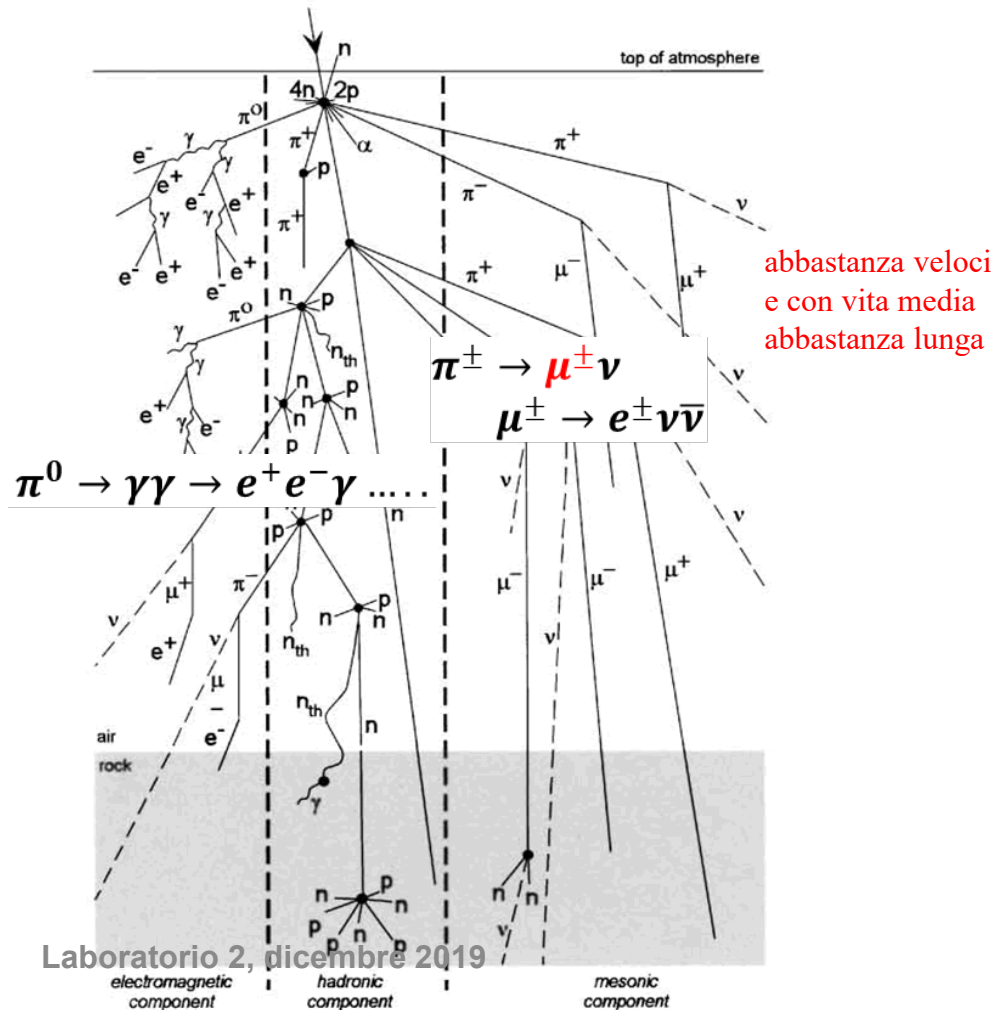
flusso

$$\Phi = \# \text{ di particelle}/(\text{m}^2 \text{ s sr MeV/n})$$



RAGGI COSMICI

la maggior parte dei raggi cosmici interagisce con i nuclei dell'atmosfera, producendo *particelle secondarie* che possono arrivare fino alla superficie terrestre



continuamente

RAGGI COSMICI

la maggior parte dei raggi cosmici interagisce con i nuclei dell'atmosfera, producendo *particelle secondarie* che possono arrivare fino alla superficie terrestre

flusso

$$\Phi = \# \text{ di particelle}/(\text{m}^2 \text{ s sr})$$

in funzione di

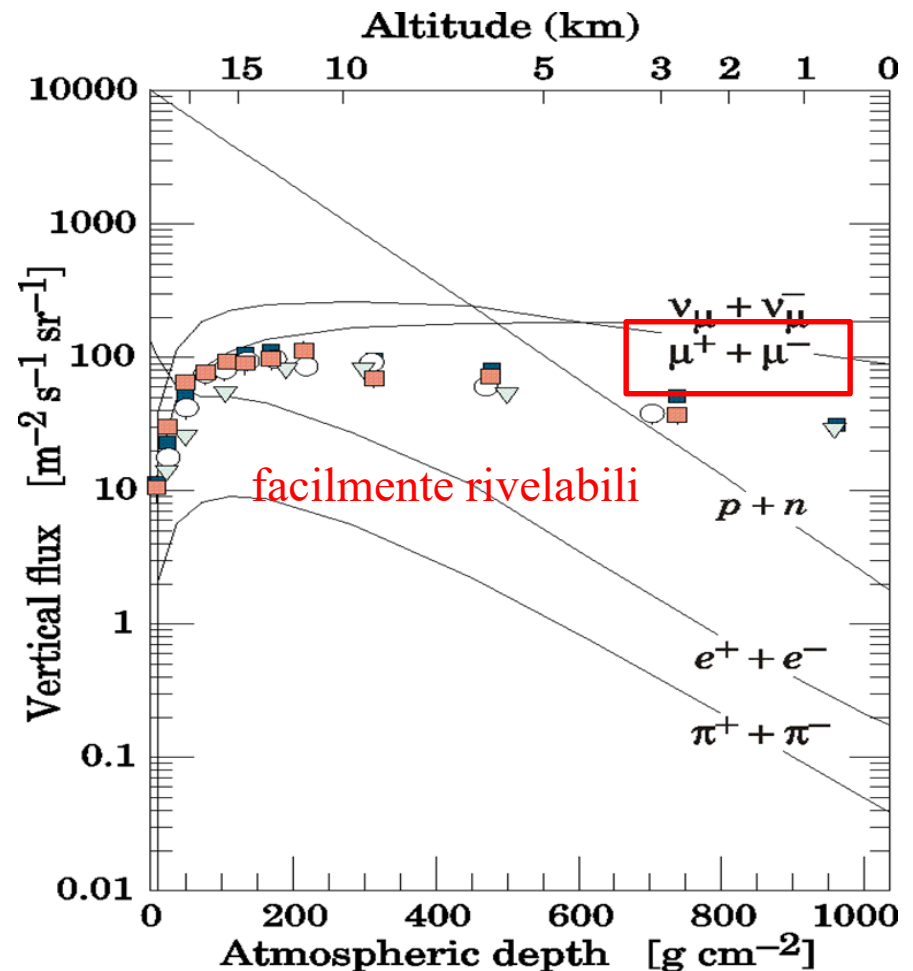
profondita' atmosferica
espressa in g/cm^2 ($\rho \times l$)

tutta l'atmosfera equivale
a 10 m di H_2O ,
circa $1000 \text{ g}/\text{cm}^2$

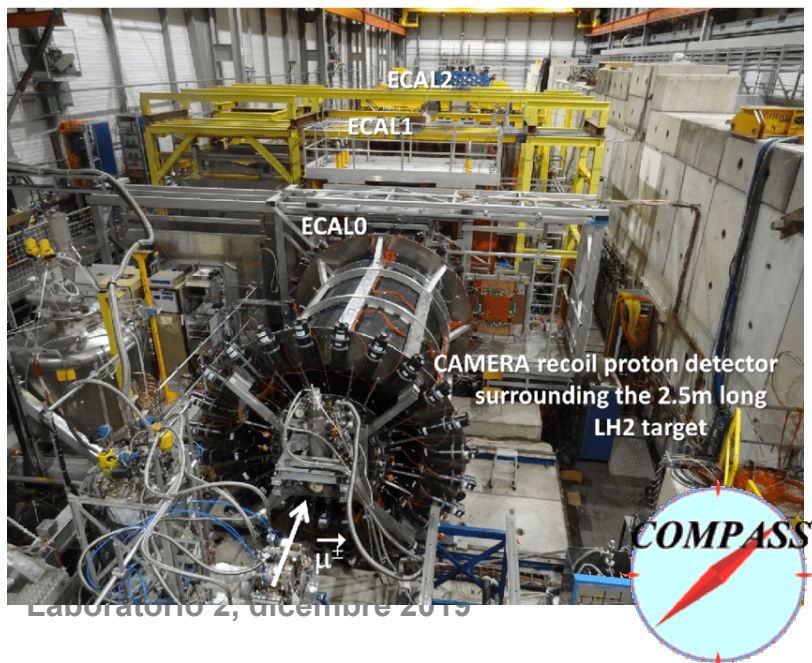
**(1 $\text{cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ per rivelatori
orizzontali).**

Punti sperimentali: misure di muoni negativi
con $E > 1 \text{ GeV}$

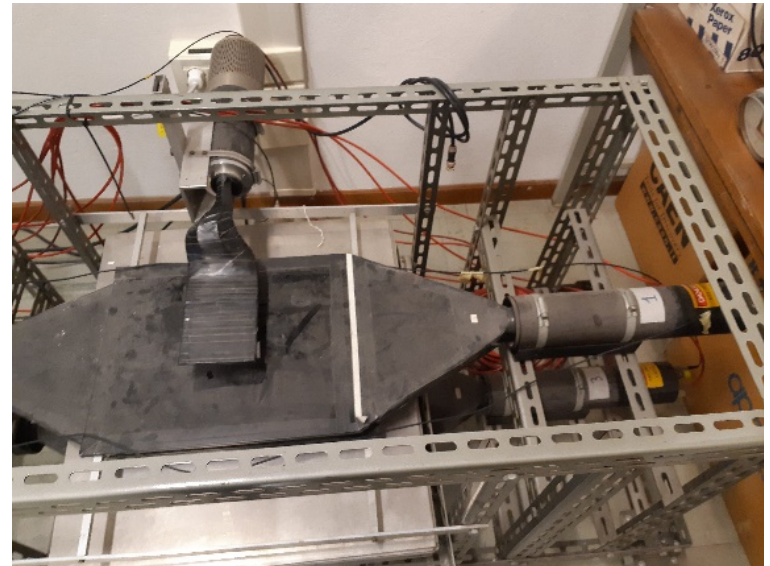
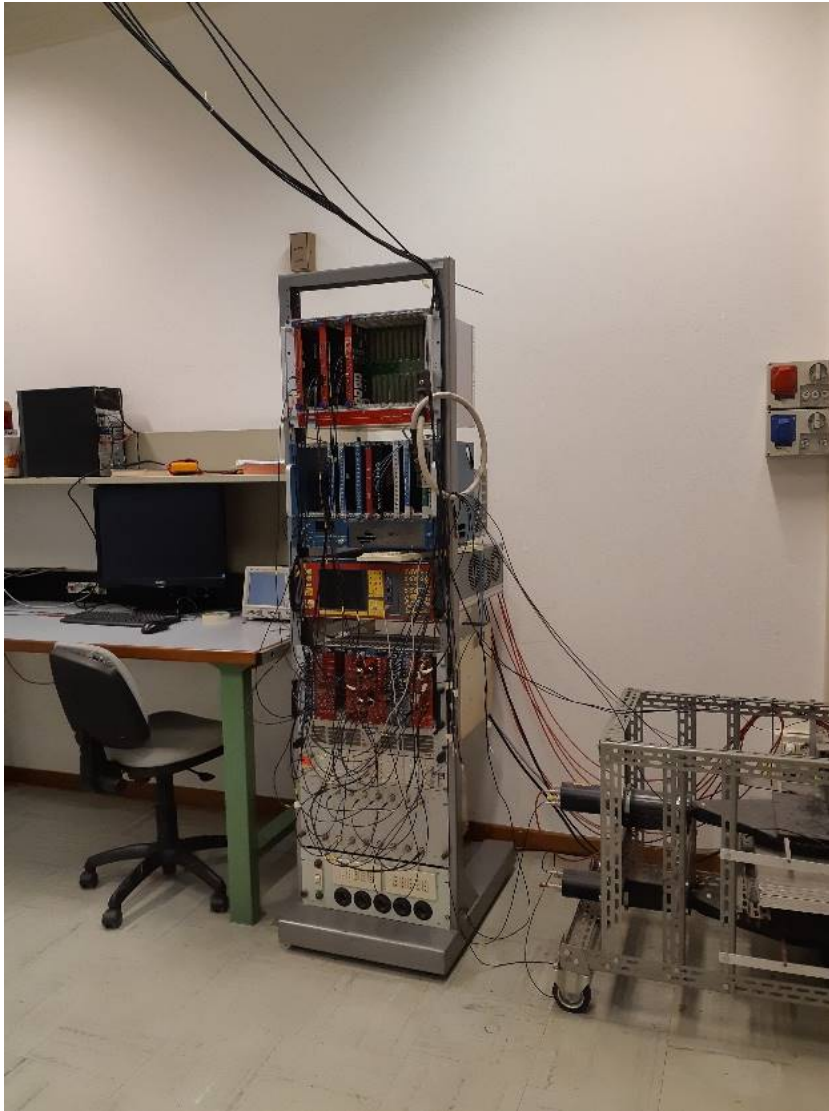
Curve: calcoli di MC con flusso
radiazione primaria e equazioni cascata



rivelatori di particelle



rivelatori di particelle



qualche informazione sui

RIVELATORI A SCINTILLAZIONE

caratterizzati da una risposta temporale molto breve

per questo sono ampiamente impiegati negli esperimenti ove sono richieste misure accurate di intervalli temporali con risoluzioni inferiori alla frazione di nano secondo

NB: uno dei tantissimi tipi di rivelatori !!!

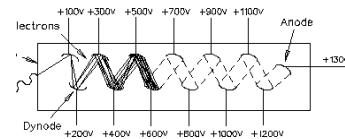
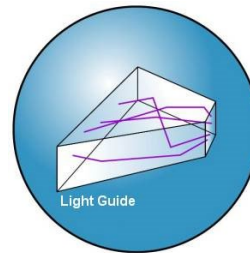
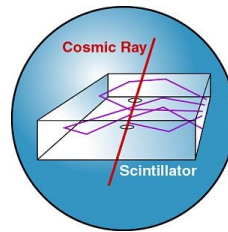
**e solo qualche informazione estremamente semplificata,
senza alcuna pretesa di completezza**

dimensioni e forma molto diverse, a seconda dell'applicazione

CONTATORI A SCINTILLAZIONE ~1940

sono costituiti da

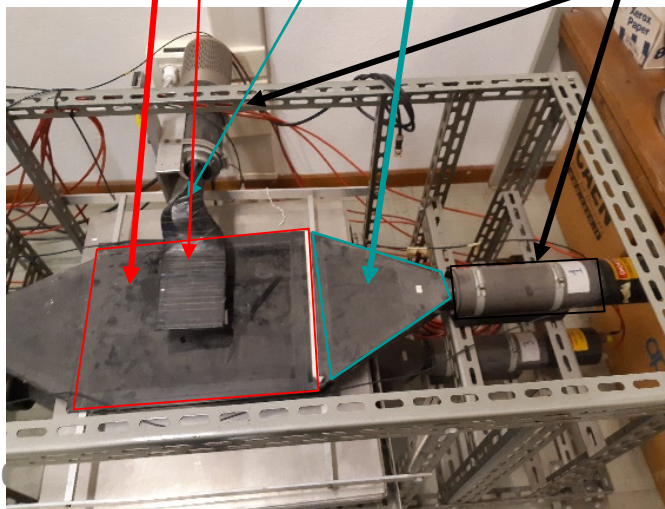
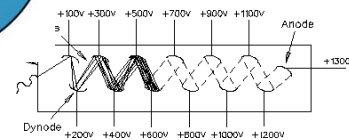
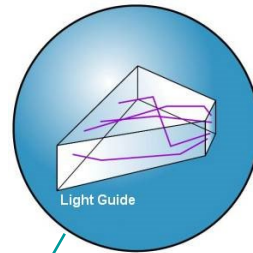
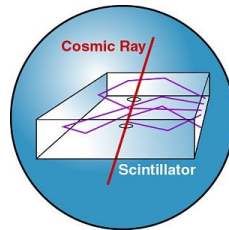
- scintillatore
- guida di luce
- fotomoltiplicatore



CONTATORI A SCINTILLAZIONE ~1940

sono costituiti da

- scintillatore
- guida di luce
- fotomoltiplicatore



scintillatore

una particella carica che attraversa materiale perde energia per ionizzazione

scintillatore: trasforma l'energia persa in radiazione em nel visibile

diversi tipi di materiali, liquidi o solidi *plastico (pratico, robusto, veloce)*

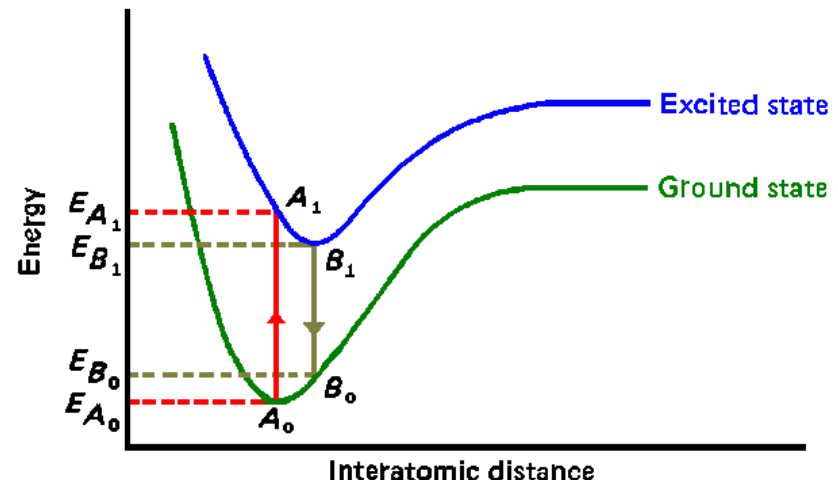
in due parole:

l'energia depositata da una particella carica causa una transizione da A_0 a A_1 in un tempo $\sim 0.1\text{ps}$

parte dell'energia viene dissipata in vibrazioni reticolari e la molecola si porta nel **minimo** della curva di energia potenziale B_1

dopo $\sim 10\text{ns}$, la molecola decade nello stato fondamentale B_0 con l'emissione di un **fotone** di energia $E_\gamma = E(B_1) - E(B_0)$

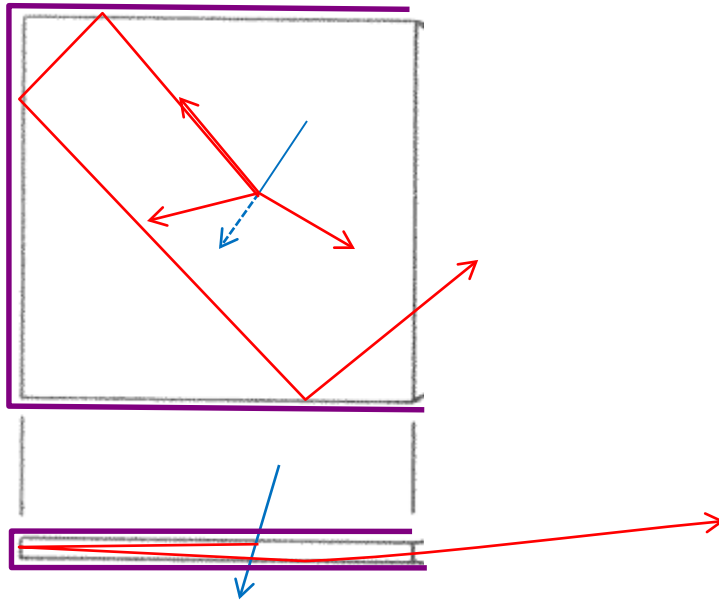
questa emissione fluorescente produce $\sim$ un fotone ogni 100eV di energia depositata dalla particella incidente ($1\text{cm} \rightarrow 2 \cdot 10^4$)



CONTATORI A SCINTILLAZIONE

~ 35 cm, i nostri

scintillatore



**copertura interna
per riflettere la
luce su 3 lati**

**copertura esterna
per impedire alla
luce di entrare**

CONTATORI A SCINTILLAZIONE

scintillatore

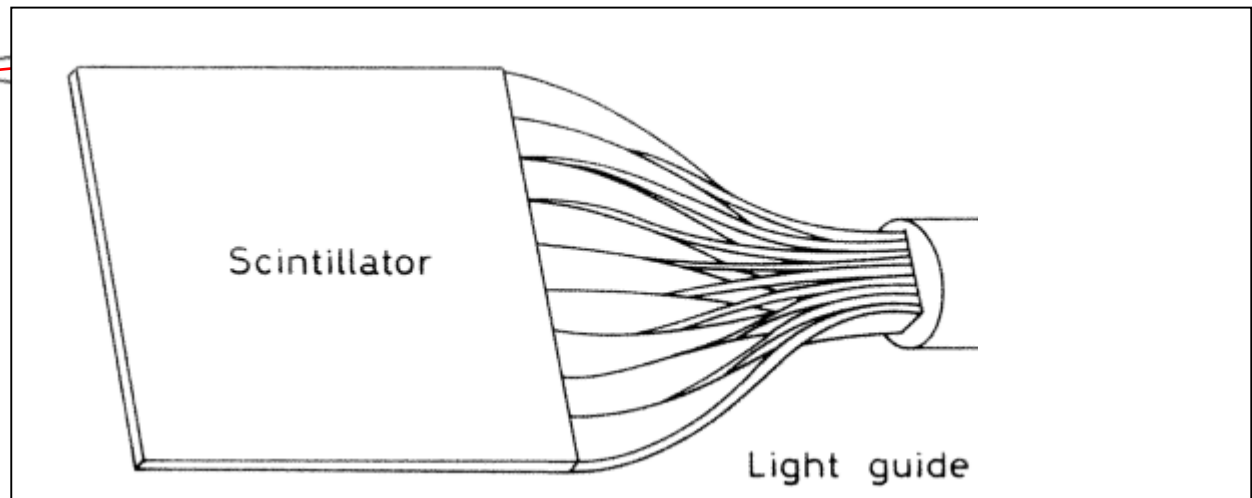
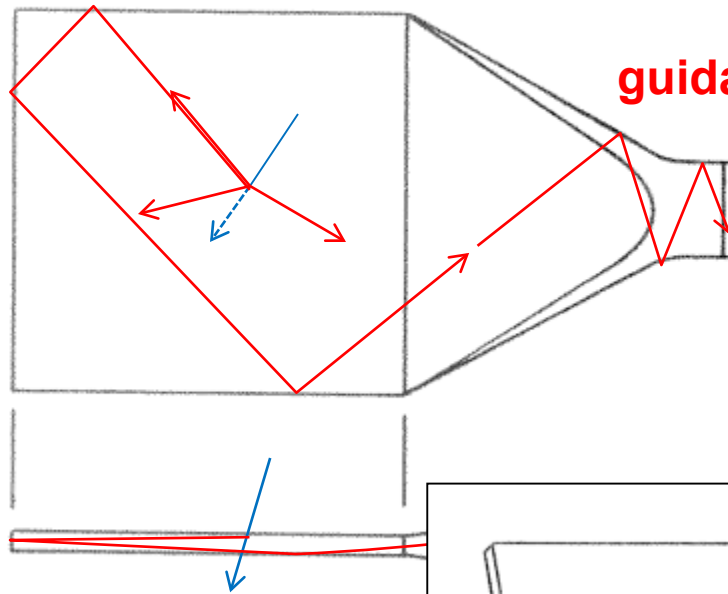
Light guide

guida di luce

copertura interna
per riflettere la
luce su 3 lati

copertura esterna
per impedire alla
luce di entrare

trasporto con
«guida di luce»



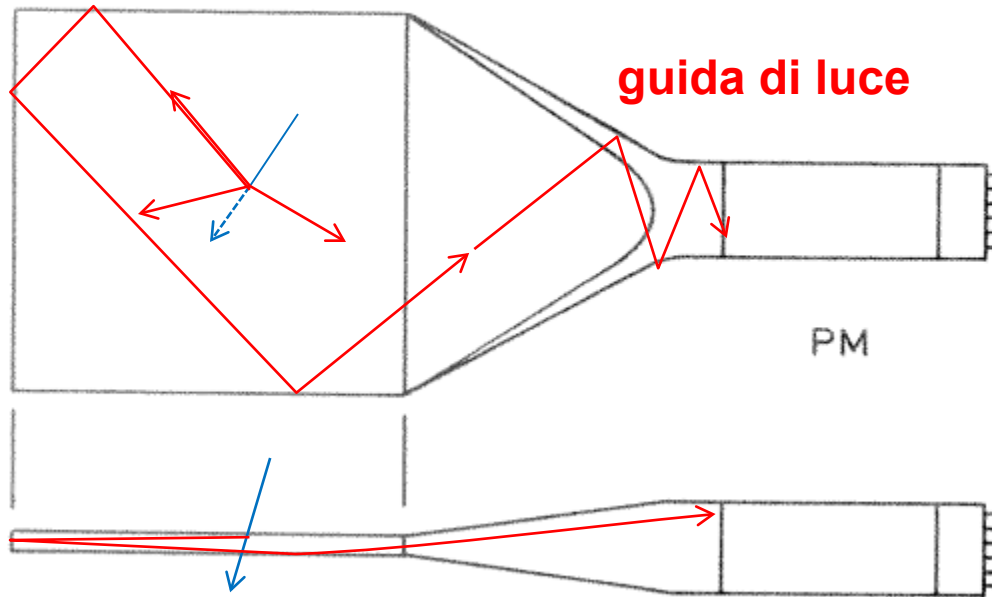
CONTATORI A SCINTILLAZIONE

scintillatore

Light guide

guida di luce

PM



fotomoltiplicatore

copertura interna
per riflettere la
luce su 3 lati

copertura esterna
per impedire alla
luce di entrare

trasporto con
«guida di luce»

fino al
«fotomoltiplicatore»

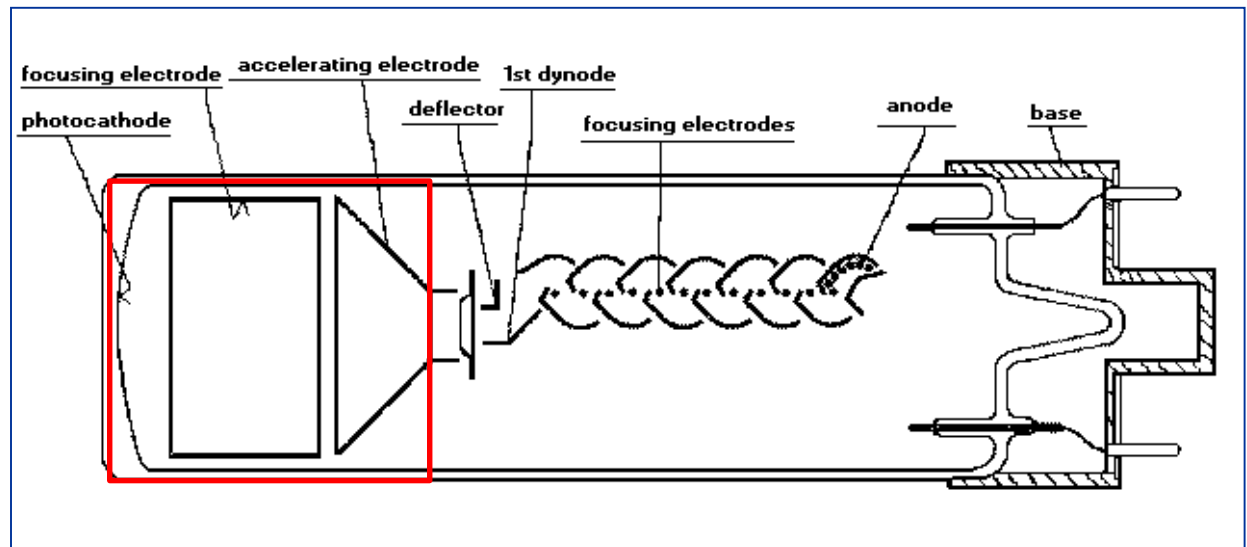
CONTATORI A SCINTILLAZIONE

(tubo) fotomoltiplicatore o PMT

trasforma la luce trasmessa dalla guida in un segnale elettrico, per poterlo trattare e registrare in modo conveniente

tubo di vetro in cui è stato praticato un vuoto spinto

fotocatodo superficie interna della finestra d'ingresso film semitrasparente di una lega semiconduttrice dal quale ogni fotone può estrarre un elettrone per effetto fotoelettrico



CONTATORI A SCINTILLAZIONE

(tubo) fotomoltiplicatore o PMT

trasforma la luce trasmessa dalla guida in un segnale elettrico, per poterlo trattare e registrare in modo conveniente

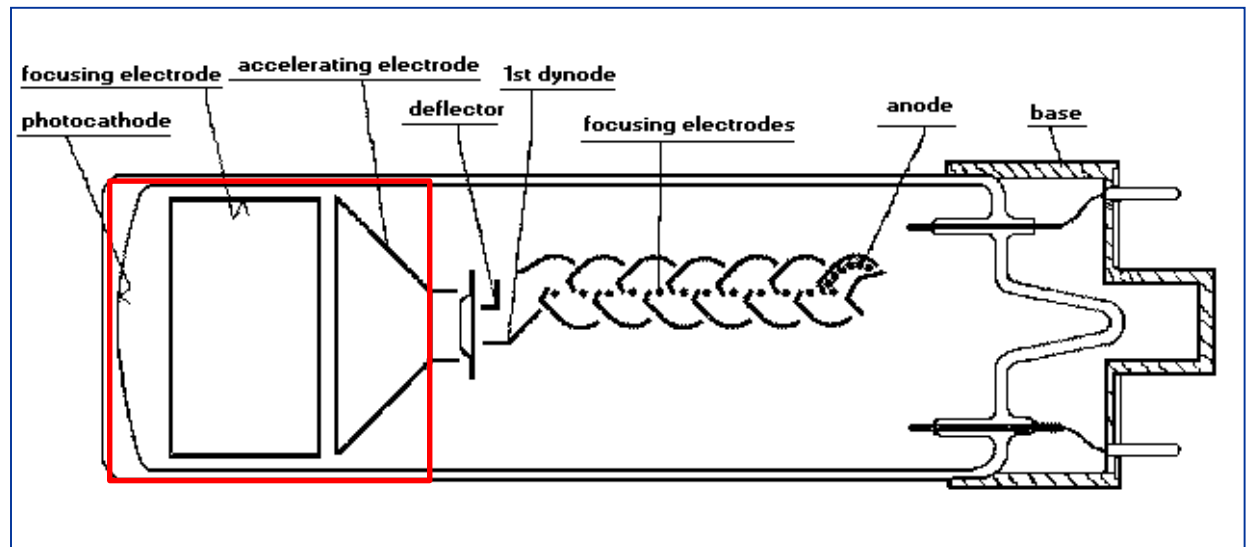
tubo di vetro in cui è stato praticato un vuoto spinto

fotocatodo superficie interna della finestra d'ingresso film semitrasparente di una lega semiconduttrice dal quale ogni fotone può estrarre un elettrone per effetto fotoelettrico

una serie di **elettrodi (dinodi)**, che mantengono un forte campo elettrico, in grado di moltiplicare la debole corrente iniziale di elettroni
permette di **moltiplicare** il numero dei fotoelettroni primari (milioni di volte)

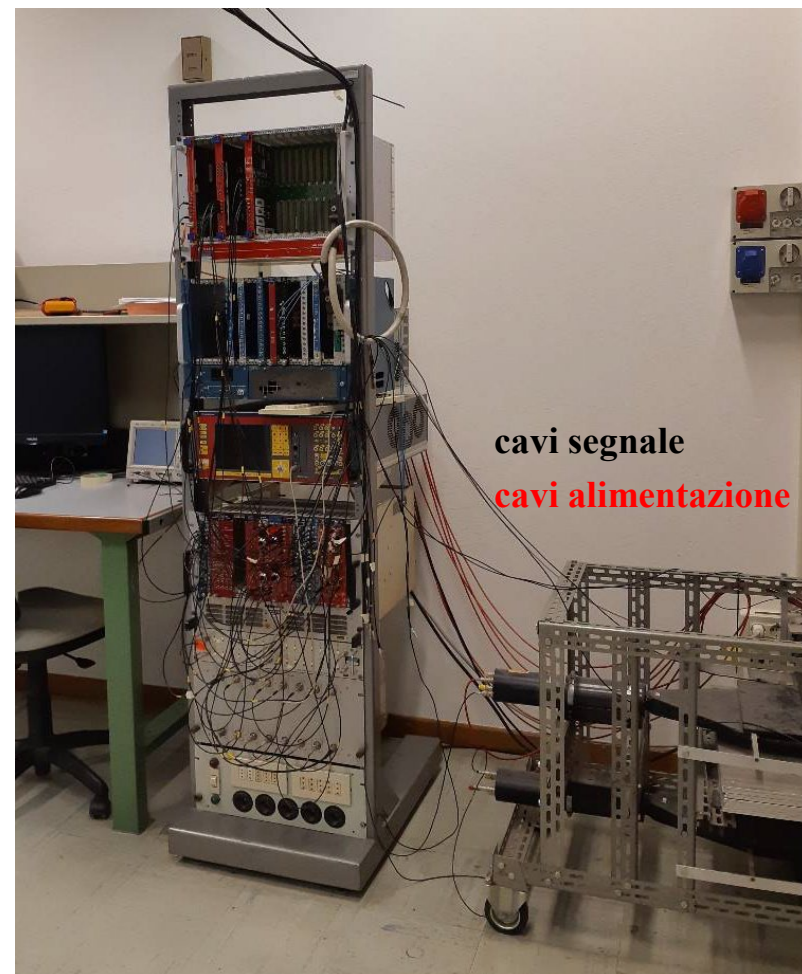
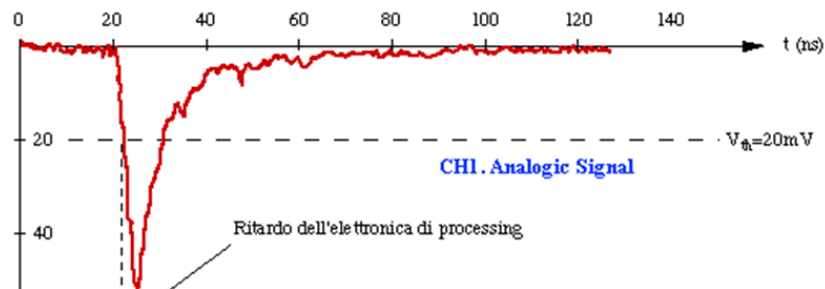
il “segnale” viene
amplificato ad ogni
dinodo successivo
fino all'ultimo
dinodo (**anodo**)

fenomeni statistici



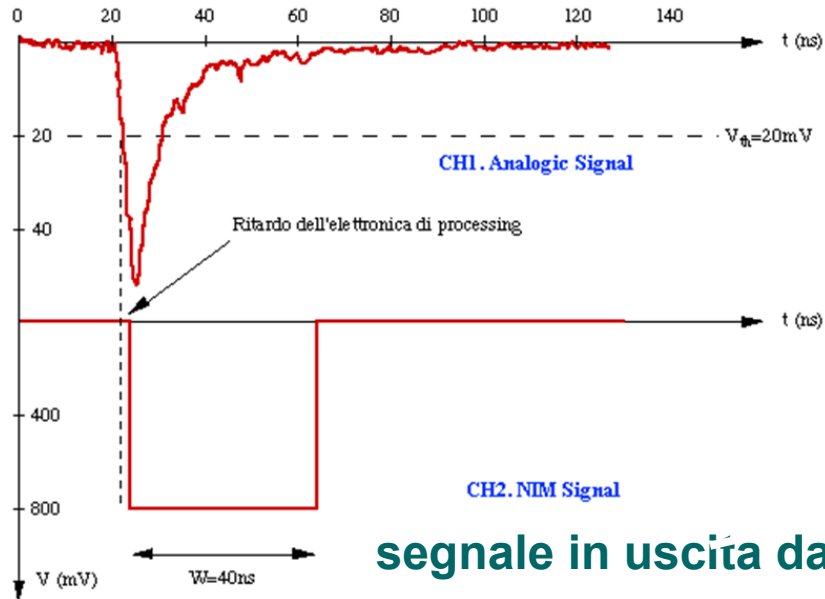
CONTATORI A SCINTILLAZIONE

segnale in uscita dal PMT



CONTATORI A SCINTILLAZIONE

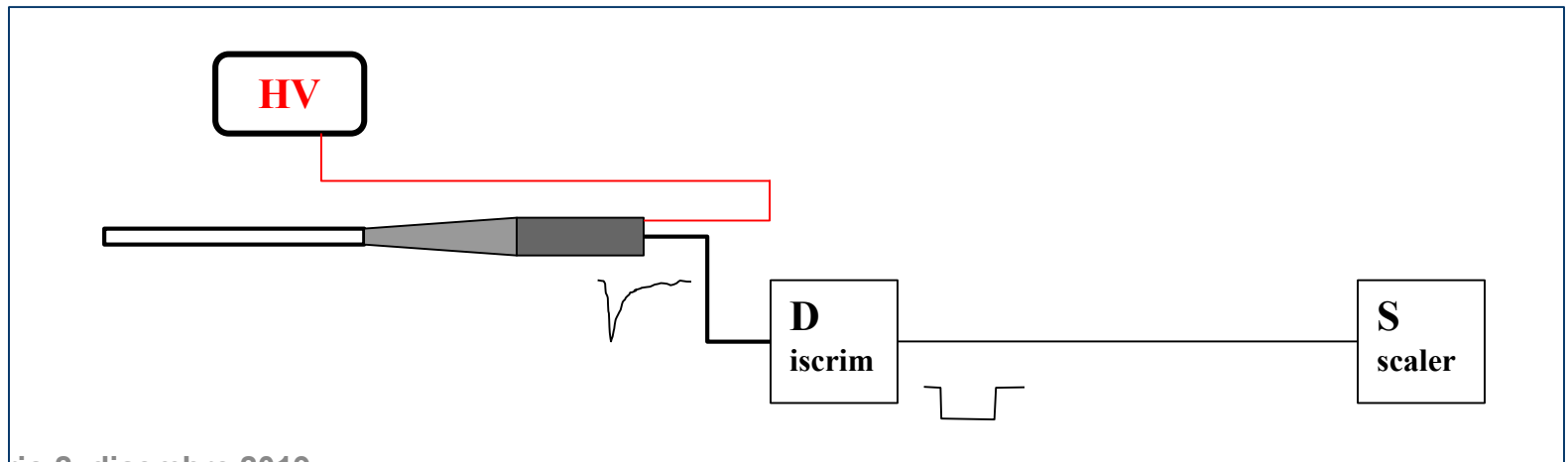
segnale in uscita dal PMT



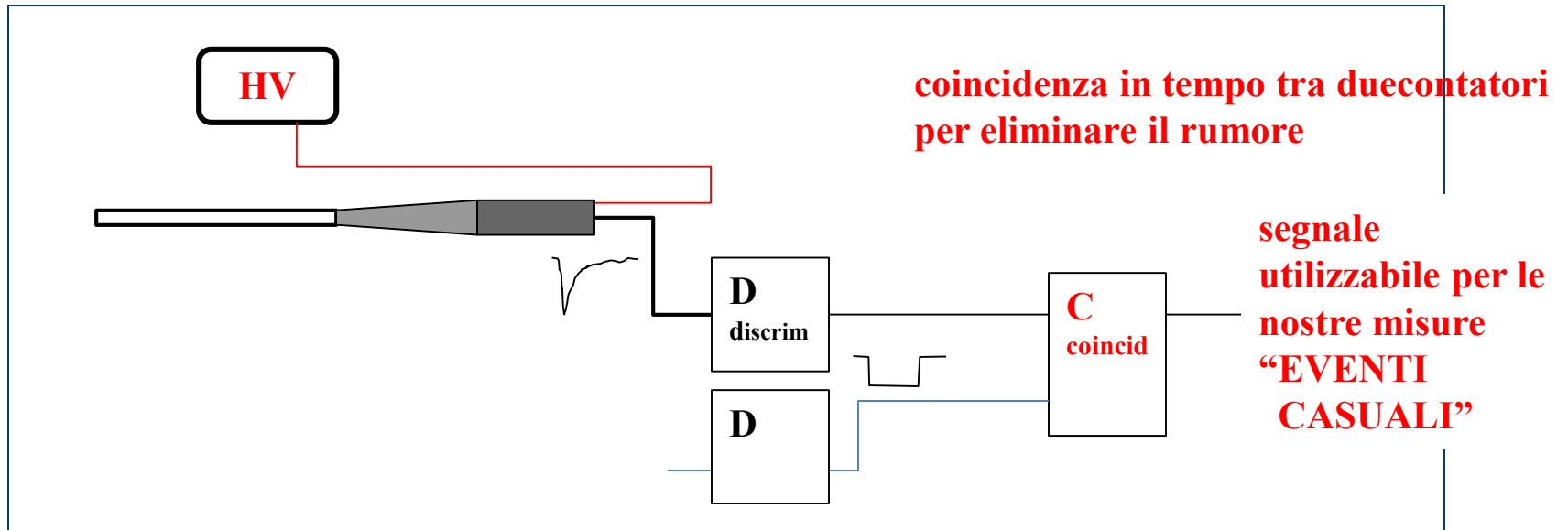
per trasformare il segnale analogico in uno digitale si usa il **discriminatore a soglia**:

produce un segnale in logica NIM (-800mV) quando al suo ingresso é presente un segnale che permane oltre la soglia impostata per un tempo non inferiore a 5ns

segnale in uscita dal D



MISURE



MISURE

HV

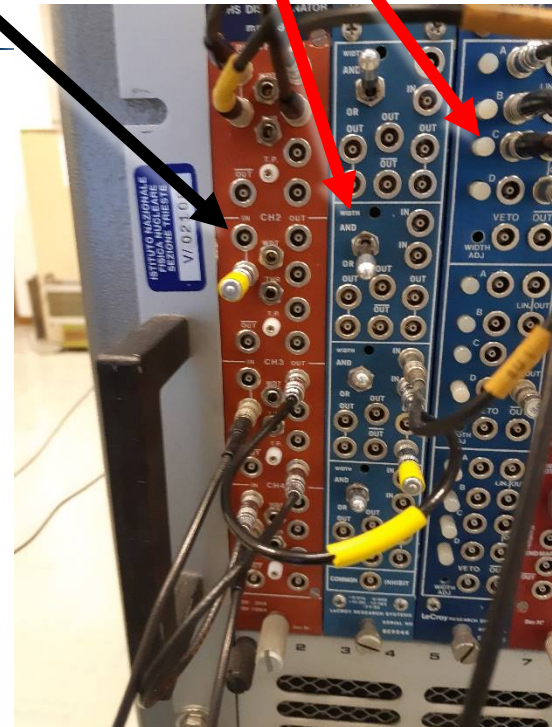
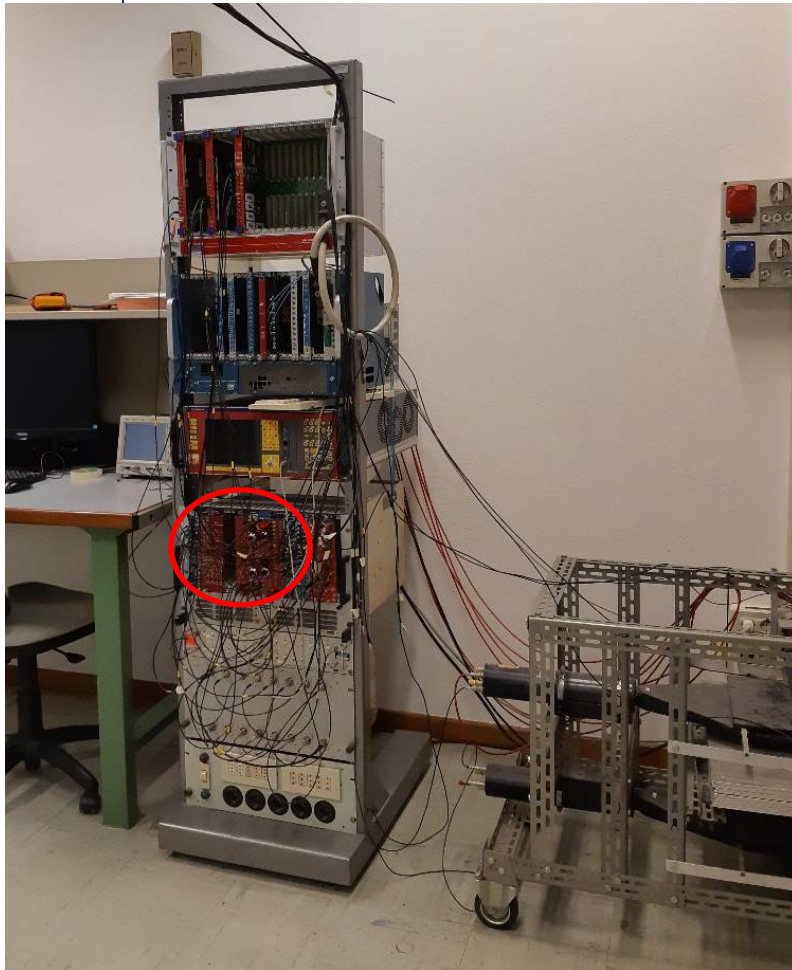
coincidenza in tempo tra due contatori
per eliminare il rumore

segnale
utilizzabile per le
nostre misure
“EVENTI
CASUALI”

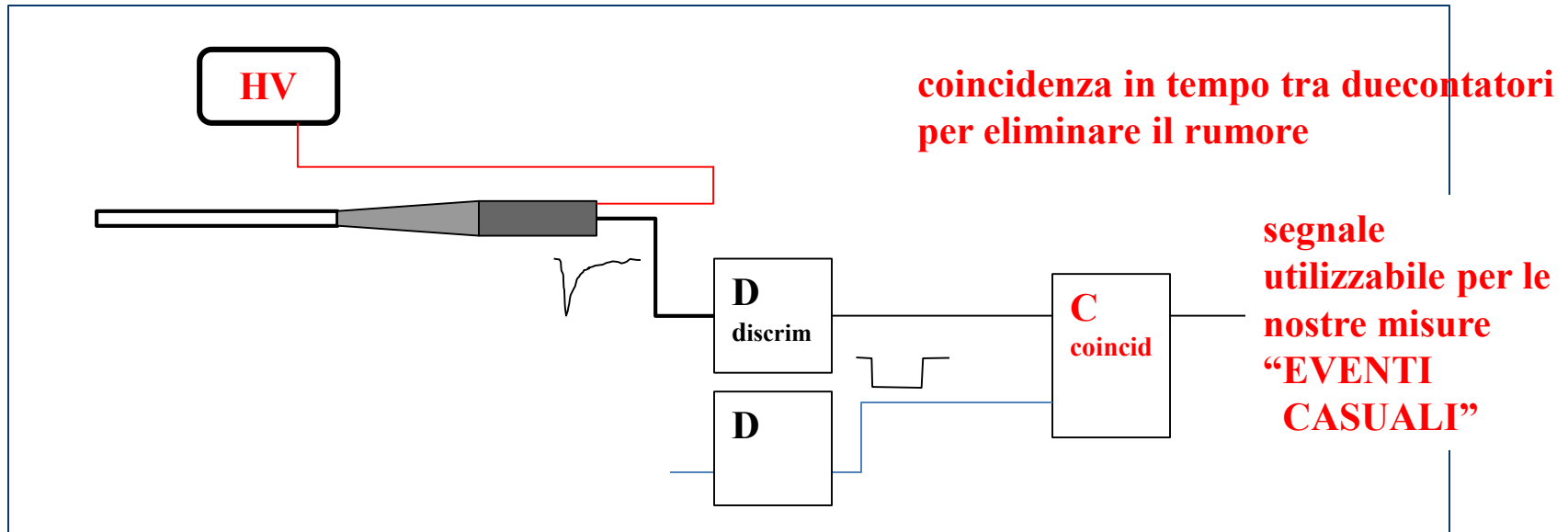
D
discrim

C
coincid

D



MISURE



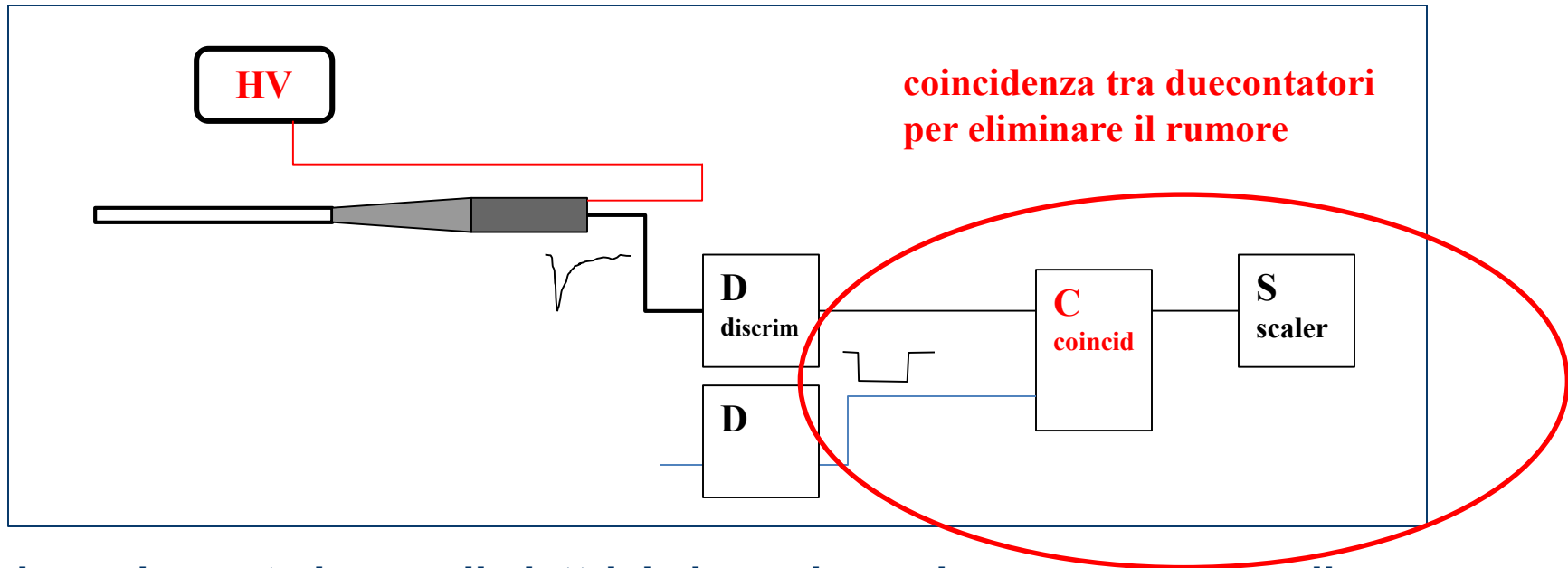
avremo anche bisogno di una “SCALA” (scaler) che conti il numero di segnali in un certo intervallo di tempo

e di un “generatore di impulsi” che invii segnali con frequenza costante da usare come “orologio”



misure

CONTEGGI IN INTERVALLI DI TEMPO FISSATI



la scala conta i segnali elettrici che arrivano in un certo intervallo di tempo

- fare una misura su 2'
- determinare Δt in modo da avere $v \sim 4$
- eseguire 300 misure di conteggi Δt in parallelo
 - riportare i valori in un istogramma
 - confrontare con la distribuzione di Poisson

eventi casuali?

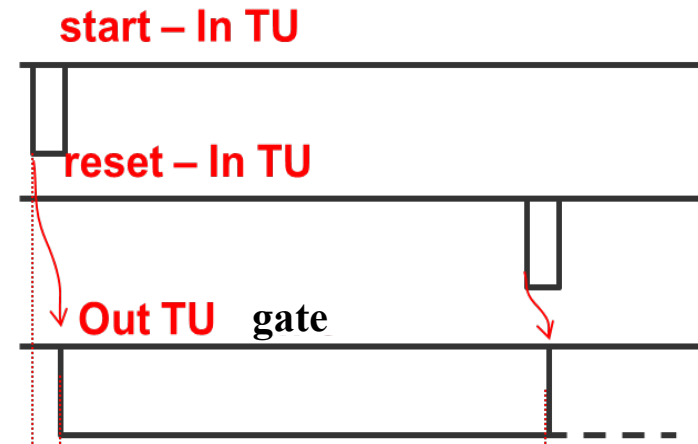
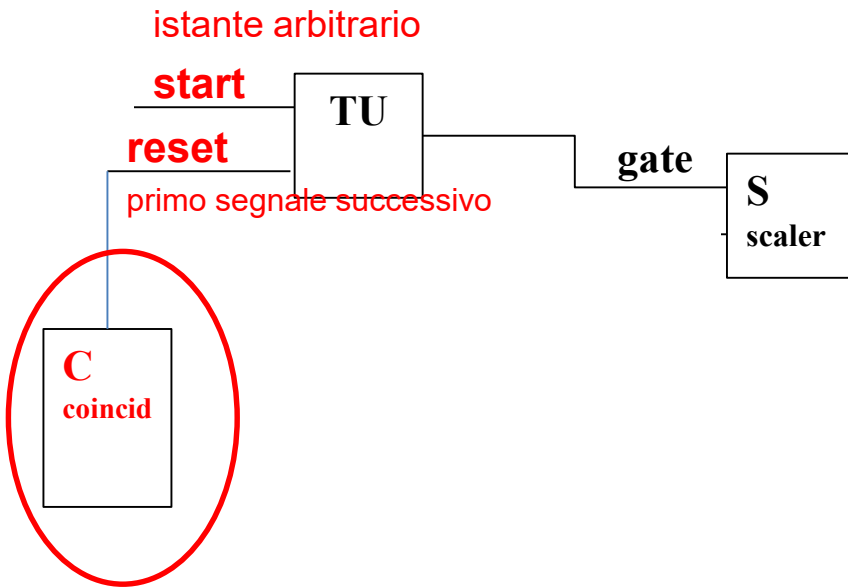
DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI

intervallo di tempo tra un istante arbitrario e
rivelazione della prima (~~e seconda e terza~~) **particella** (segnale)
successiva

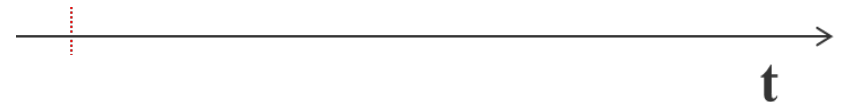
distribuzione esponenziale?

un modo semplice per misurare $\Delta t = t_{\text{start}} - t_{\text{reset}}$

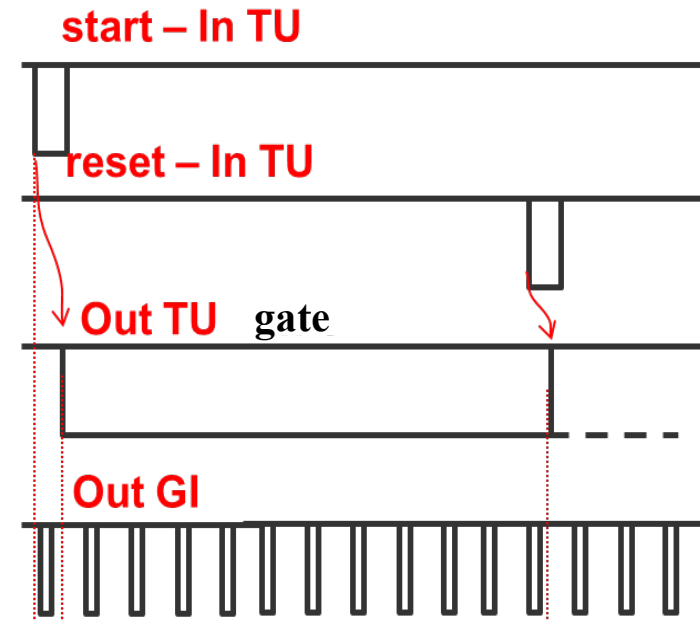
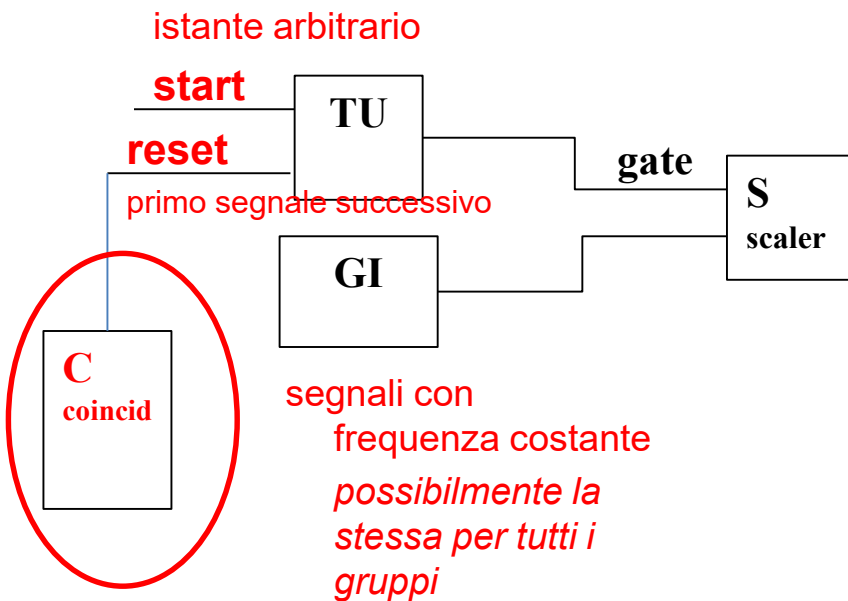
DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI



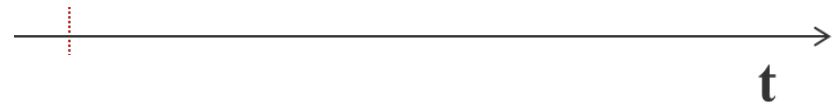
solo un esempio:
probabilmente il circuito sara' diverso



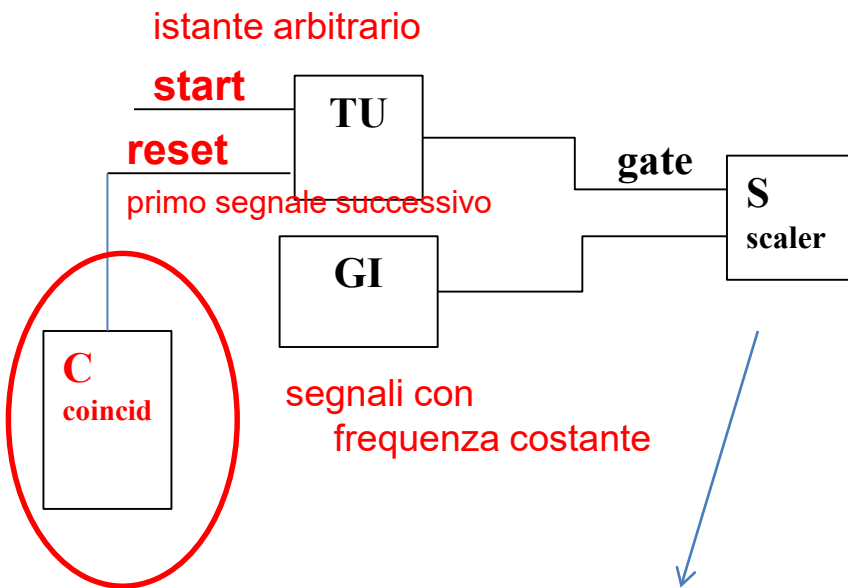
DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI



solo un esempio:
probabilmente il circuito sara' diverso

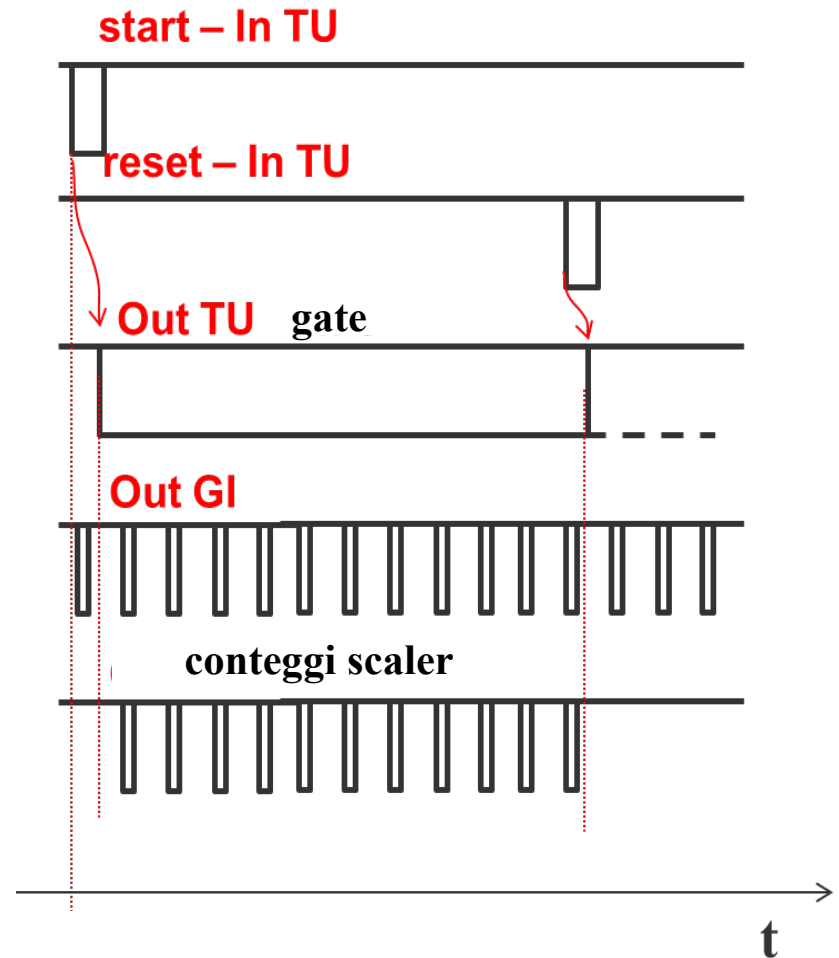


DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI

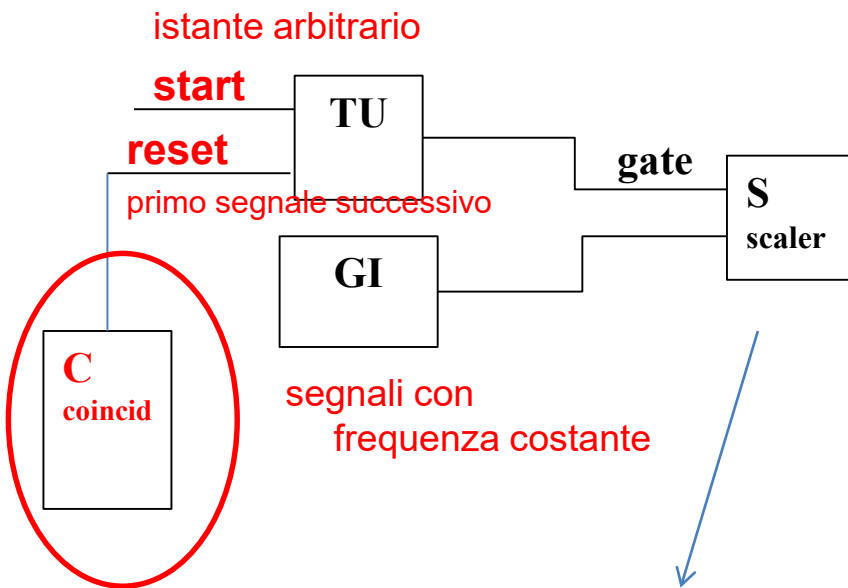


$$\text{conteggi} = c \Delta t$$

basta misurare la
frequenza dei
segnali da GI



DISTRIBUZIONE DEGLI INTERVALLI



$$\text{conteggi} = c \Delta t$$

basta misurare la
frequenza dei
segnali da GI

